

# Geostatistik og geologi

## - rummelig statistik giver bedre kort

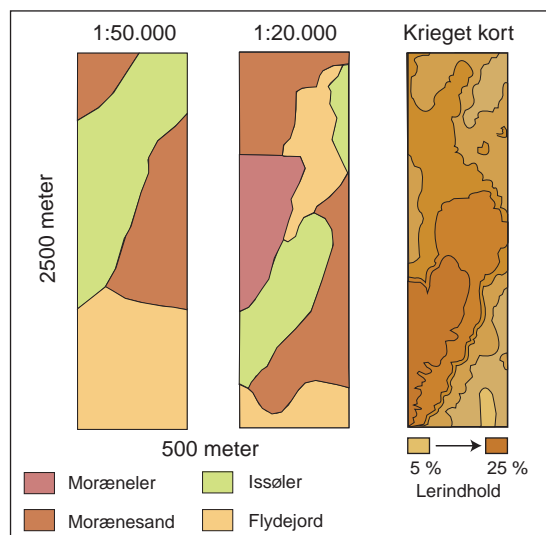
Af Søren M. Kristiansen & Mogens H. Greve, Danmarks JordbrugsForskning

Ordet "statistik" leder ikke umiddelbart tanken hen på geologi. Og det lyder måske skræmmende for nogle. Men den såkaldte geostatistik kan netop beskrive rummelige variationer i jorden og har store fordele, når man tegner kort, ønsker at forstå, hvad der sker i landskabet, eller skal grave efter mineraler, som ofte finde i årer. Derfor anvendes geostatistik også mere og mere inden for mange områder af geologien.

Når man tegner et kort over en jordforurening, eller ønsker at vide, hvor man kan finde guld, står man med det samme grundlæggende problem. Indholdet af jordforureningen kendes måske kun i få punkter, mens indholdet af guld kun er kendt i få minegange. Og begge dele er sikkert bestemt i en boring på en prøve, der vejer mindre end eet gram. Så hvordan omsætter man disse såkaldte punktmålinger til den virkelige verden, som vi geologer skal sige noget fornuftigt om, når kun én ting er sikkert: Det varierer meget!

Til at løse dette problem er der de seneste årtier heldigvis udviklet geostatistiske værktøjer, som benytter avanceret matematik for at besvare vores spørgsmål. De kan bruges i alle skalaer og på områder i størrelsen fra kvadratmeter og op til hele Danmark, og de beskriver, om jorden varierer systematisk eller tilfældigt. Metoden beskriver i øvrigt, om afstanden imellem målepunkter er tilstrækkelig.

Her ses, hvordan to geologiske kortlægninger i forskellig målestok, 1:20.000 og 1:50.000 kan give vidt forskellige kort – selvom det er samme område. Kriegering foretaget på målinger af jordens lerindhold i 150 målepunkter giver derimod et andet billede af lerets fordeling, som kan "oversættes" til en bedre geologisk kortlægning i begge målestokke. (Grafik: Forfatteren og UVH)



### Traditionel kortlægning

Når man tegner et kort, er ønsket normalt at kende indholdet eller egenskaben overalt i et område, selvom man kun kender det i få punkter. Det kan fx være målinger af arsen i grundvand, nedbøren i Danmark, pesticider i landbrugsjord eller jordens ledningsevne. Målingerne skal måske bruges til at sige noget om risikoen for drikkevandsforurening, nedsvivning eller noget helt andet for hele Danmark.

Men før man kommer så langt, er der flere ting man skal overveje. Bl.a. hvordan man skal lægge grænser, og om man kan stole på de målinger man har?

Traditionelt stoler man på, at den, der tegner et kort, har et tilstrækkeligt kendskab til, hvor og hvordan det, man vil lave kortet over, varierer.

Den traditionelle kortlægning giver derfor et kort med mange små "pletter" eller

områder. For tolkningen af egenskaberne giver skarpe grænser imellem områderne, også selvom vi ved, at skarpe grænser sjældent ses i naturen.

### Rummelig interpolation

Metoder, der kendes som rummelig interpolation, kan løse de fleste problemer, der forbindes med traditionel kortlægning. Rummelig interpolation bruger avancerede formler, der også tager hensyn til flere målinger end den nærmeste nabo, og som kan udglatte eller fremhæve toppe – alt efter hvad man ønsker.

Matematikken bag skal vi ikke komme ind på, men alle metoder bruger matematiske formler for at efterligne naturen. De mest avancerede metoder producerer i mange tilfælde gode kort, men efterlader en række spørgsmål ubesvarede. Især om kortet kan have et andet udseende, der pas-

## Dansk Geofysik arbejder med vand....

- Kortlægning af grundvandsressourcer
- Kildepladsundersøgelser
- Risikoanalyser
- Sporing af forureningskilder
- Opstilling af grundvandsmodeller
- Kortlægning af nedgravede tankanlæg og rør
- Kortlægning af råstoffer

## Dansk Geofysik

Kortlægning og rådgivning

Dansk Geofysik A/S  
Forskerparken  
Gustav Wiedes Vej 10  
DK-8000 Århus C

Tel. +45 86 20 50 80  
Fax. +45 86 20 97 88  
E-mail: dg@geofysik.dk  
Web: www.geofysik.dk

ser bedre til målingerne, samt hvor stor usikkerheden på kortet er. Men det kan en rimelig interpolationsmetode kaldet krieging faktisk give svar på i mange tilfælde.

### Krieging

Denne nok mest kendte geostatistiske metode er opkaldt efter den sydafrikanske mineingeniør D.G. Krieger, som var med til at "opfinde den". Han og en fransk matematiker, G. Matheron, var nemlig i 1960'erne optaget af at udvikle en bedre og mere sikker metode, som kunne bruges i mineindustrien til at forudsige, hvor malmen havde det højeste indhold af fx guld. Men allerede i 1930'erne havde den russiske forsker A.N. Kolmogorov faktisk udviklet tilsvarende metoder – som blot forblev glemt i 50 år, da ingen kunne bruge dem uden computer!

Selve krieging-metoden bygger på den antagelse, at rummelig variation (her i 2 dimensioner) i naturen er for stor til at kunne modelleres med en normal matematisk formel, der giver "bløde" kurver. Det kan derimod løses med en såkaldt stokastisk overflade, der også kan modelleres matematisk, og

som samtidigt kan optimere modellen.

Flere problemer bliver hermed løst, som fx at flere "nabo- og genbomålinger" kan inddrages. Samtidig har krieging fordele i forhold til andre interpolationsmetoder; fx at man får et estimat af, hvor præcist alle punkter på kortet er bestemt, dvs. hvor pålideligt kortet er.

### Svagheder ved krieging

Krieging har dog også visse begrænsninger. Fx at man skal have rigtigt mange målinger, samt at målepunkterne helst skal have samme afstand, dvs. være ensartet fordelt over området. Andre problemer kan opstå, når variationen i naturen ikke er ens i alle retninger, eller når variationen er så stor, at den krævede afstand imellem prøverne bliver helt urimeligt kort. Især i det sidste tilfælde kan man spørge, om det overhovedet er rimeligt at tegne et kort?

I geostatistik er en grundlæggende antagelse, at to punkter der ligger tæt på hinanden, har større sandsynlighed for at ligne hinanden, end to punkter der ligger langt fra hinanden. Men to målinger af fx lerindholdet fra en bakketop vil sandsynligvis

ligne hinanden mere end en måling på bakketoppen og en for foden af bakken – også selvom der er færre meter imellem!

Det betyder, at man skal lave en vis tolkning for at underindele et område i typer, før man foretager en krieging. Dette kan fx være en underinddeling i enkelte landskabselementer, såsom hedesletter og moræneområder. Men kravet om såkaldt kontinuert varians betyder dermed, at man skal lave en vis faglig tolkning, før de mere objektive geostatistiske metoder kan anvendes. Problemerne fra den traditionelle kortlægning kan derfor til en vis grad "nedarves".

### Videreudviklinger

I de seneste år er mange nye metoder udviklet. Eksempelvis er krieging videreudviklet, så informationen fra en egenskab i jorden fx ledningsevne, der let måles, bruges til at forbedre forudsigelserne for en anden egenskab, der er svær eller dyr at måle. Dette kaldes co-krieging. Geostatistik kan også bruges til at vurdere sandsynligheden for, at en grænseværdi kan være overskredet i et område, hvor man ikke har taget prøver. Fx om der er for meget tungmetal i

## Variabilitet og semivariogrammet

Semivariogrammet er – ud over det færdige kort – det centrale i krieging, og det præsenteres typisk vha. af en figur for at gøre dets resultater overskuelige. Matematisk sker der nemlig det, at man udregner variansen imellem målingerne for alle de rummelige kombinationer af målepunkter med samme afstand – og det kan virke uoverskueligt, hvis man har mange målinger. Et eksempel er figuren herunder, som viser resultatet, efter at målinger af lerindholdet er blevet "krieget".

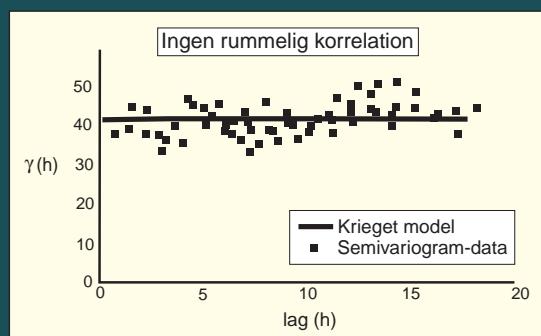
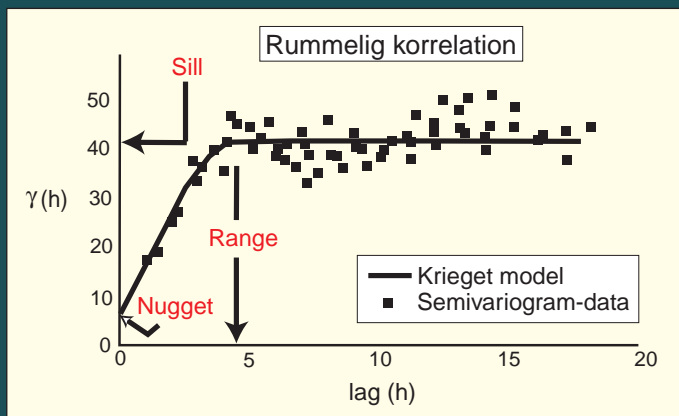
Semivariogrammet kan fx hjælpe til at tegne et kort over et helt område, hvor man kun har målt få steder. Formålet her er at analysere de målinger, man har, for at kontrollere, om man kan stole på dem, eller om prøverne er taget med for lang afstand imellem.

Skønnet over, om der i naturen er målt tæt nok til at tolke på en given afstand, kaldes "range". Semivariogrammet herunder til venstre viser et eksempel på lerindhold målt i et net med 25 meter imellem. "Range" er i figuren 5, og det betyder, at lerindholdet er rummeligt korreleret inden for 5 gange måleafstanden, dvs. 125 meter. Det betyder også, at jordens lerindhold ændrer sig markant for ca. hver 125. meter, man bevæger sig ude i landskabet. Så længe variationen,  $\gamma(h)$ , øges, samtidig med at man flytter sig en afstand,  $lag(h)$ , er der rummelig korrelation imellem prøverne, og prøver taget tæt på hinanden er mere ens end prøver taget længere væk fra hinanden. Det betyder fx, at man her, hvor der er målt for hver 25 meter, kan stole på

tolkninger af lerindholdet i områder på 10 gange 10 meter, men ikke på tolkninger for områder på 250 gange 250 meter.

Semivariogrammet kan også bruges til at indsamle nye prøver efter. Her viser erfaringer, at man skal indsamle prøver med ca. det halve af range, dvs. hér ca. med 60 til 70 meter for at kunne stole på fortolkningerne fra hele området. Hvis et variogram slet ikke har en "range", dvs. ikke flader ud, betyder det, at variationen i naturen er så stor, at man ikke har målt tæt nok. Det er, hvad man ser i semivariogrammet herunder til højre.

Semivariogrammet fortæller også andre ting. Den såkaldte "nugget-værdi" fortæller om usikkerheden/støjen på målingerne – som i eksemplet her er relativt lille. "Sill" derimod fortæller, hvornår variationen imellem områder bliver afhængig af afstanden imellem målingerne.



(Grafik: Forfatterne og UVH)

jorden i forhold til lovgivningsretningslinier i områder, hvor man ikke har målt.

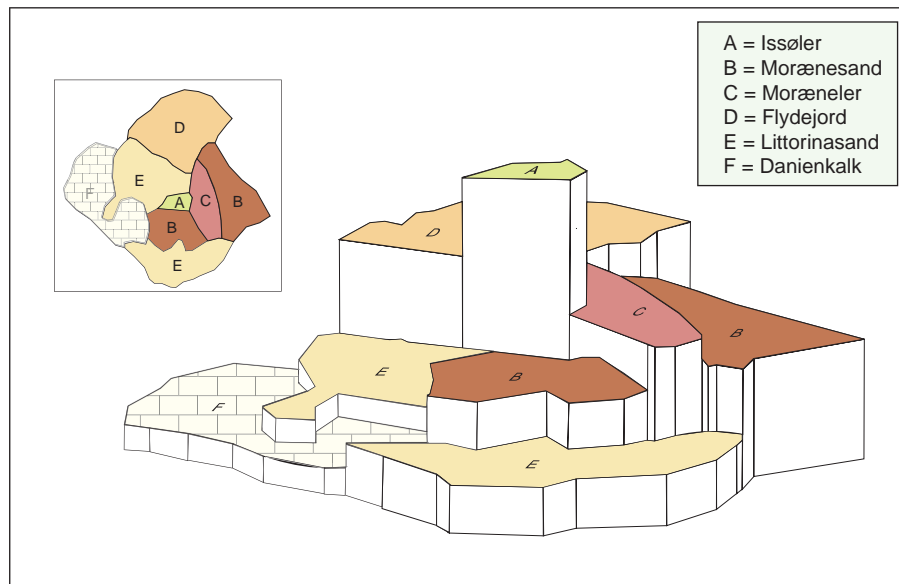
En anden avanceret metode baseret på krieging bygger på, at man i undersøgelser af forurening kan forsøge at sortere den naturlige baggrundsværdi fra. Dette kan være til hjælp i forbindelse med undersøgelser af fx tungmetaller, som naturligt findes i jord og vand, og hvor deres indhold i forvejen kan variere betragteligt.

### Prøvetagning

Der er flere ting, man skal overveje, før man tager ud og samler prøver i naturen. Ofte tager man prøver i et kvadratisk net med en fast afstand i mellem, fordi det er let og også giver de bedste resultater, når man efterfølgende vil tegne et kort vha. krieging. Men man kan få helt forkerte resultater, hvis der er en systematisk variation i jorden eller landskabet. Eksempelvis hvis man konsekvent tager sine prøver i køresporene på en mark eller i strandvolde langs kysten eller på hævet havbund.

### Geostatistik er kun et hjælpemiddel

De nyeste computerprogrammer til geostatistik er meget brugervenlige og findes bl.a. i mange Geografiske InformationsSystem-programmer (GIS). Med hjælp fra sådanne programmer kan man lave selv meget komplicerede analyser og gode kort ud fra egne målinger. Desværre er virkeligheden



En traditionel geologisk kortlægning giver områder eller klasser, med hvert deres indhold af ler – og med bratte grænser imellem. Men det er sjældent, sådan naturen opfører sig. Her er grænserne typisk mere eller mindre gradvise, og geostatistik kan ofte hjælpe med at bestemme grænsernes beliggenhed bedre end kortlæggeres erfaring alene. (Grafik: Forfatterne og UVH)

sjældent helt så let, som disse programmer gør det til, og set i lyset af, at faldgruberne er utallige, har de fleste ofte brug for hjælp fra en professionel statistiker.

Men selv med computerprogrammer og hjælp fra professionelle statistikere, kan vi ikke undvære en kvalificeret geologisk

tolkning af de data, man putter ind i de geostatistiske programmer og af de kort, som kommer ud. Det betyder også, at geostatistikens resultater ikke kan bruges alene, men altid sammen med – og især som baggrund for – en mere kvalificeret geologisk tolkning. ■

## Kort nyt

### Mus som jordskævlingsforudsigere

Japanske forskere har opdaget, at mus reagerer på elektromagnetiske felter, der ligner dem, der kan registreres umiddelbart før et jordskælv. Eksperimenter har vist, at udsættelse af musene for elektroniske felter, ødelægger man deres indre tidsforhold, og de reagerer ved at sove mere. Biologer pointerer dog, at unormal adfærd hos mus er svær at definere og kortlægge, så der er næppe tale om, at der er fundet et nyt holdbart middel til at forudsige jordskælv!

Rapporter om dyr, der udviser usædvanlig adfærd forud for jordskælv, er mangfoldige. Et par af de mere specielle er fx fisk i Kina, der hopper ud af deres akvarier, og slanger i Mexico der efter sigende skulle forlade deres huler og underjordiske gange umiddelbart før et jordskælv.

BBCNews/SP

### Oversigtsvejrsudsigter om 1-2 år

DMI (Danmarks Meteorologiske Institut) forventer i løbet af et til to år at kunne præsentere de første langsigtede vejrsudsigter, der rækker 30 dage eller muligvis endnu længere frem. De vejrsudsigter, man hidtil har lavet, er baseret på de nederste ca. 10

km af atmosfæren (troposfæren), hvor strømningerne er meget kaotiske, og det derfor ikke er muligt at lave prognoser, der går mere end ca. 10 dage frem i tiden. Strømningerne i luftlagene over troposfæren (stratosfæren, 10 og 50 km over jordoverfladen) er derimod mere rolige, og de forskellige strømningsmønstre varer længere.

Variationerne i stratosfæren bevæger sig ofte langsomt ned mod jordoverfladen og når denne 10-60 dage efter, at de første gang viste sig i stratosfæren. Det er dette fænomen, man nu vil prøve at udnytte ved at måle og modellere variationerne i strato-

sfæren, så man kan forudsige vejrtyper i troposfæren i op til to måneder frem i tiden. I så lange vejrsudsigelser ligger en del nye perspektiver, for eksempel kan de udnyttes af landbruget og energisektoren.

Meget tyder også på, at koblingen mellem stratos- og troposfæren eksisterer, når vi taler om klimaændringer. Det betyder, at mekanismer, der kan ændre klimaet i stratosfæren, også kan have en effekt på klimaet ved jordoverfladen. Sådanne mekanismer kan for eksempel være udtynding af ozonlaget og ændringer i solens aktivitet. DMI/SP ■

<b>NYHED!</b>	<b>NYHED!</b>
Ny software til SAS 1000/4000 - 150-200 % forbedring i forhold til tidligere versioner (lavere end version 3.00)	Terrameter logging/SAS LOG til SAS 4000
	<b>NYHED!</b>
	RAMAG - Ny software til WADI VLF
<b>NYHED!</b>	
Georadar fra Malå Geoscience AB	
<b>Dyno Nobel Danmark A/S</b>	
Telefon 43 45 15 38	
Homepage <a href="http://www.dynonobel.dk">www.dynonobel.dk</a>	